

Elementos Minerais em Forrageiras: Formas Químicas, Distribuição e Biodisponibilidade



República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

***Ministério da Agricultura, Pecuária e
Abastecimento***

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Conselho de Administração***

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast

José Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral

Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal

Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Bonifácio Hideyuki Nakasu

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores

Embrapa Gado de Corte

Antonio Batista Sancevero

Chefe-Geral

Documentos 115

Elementos Minerais em Forrageiras: Formas Químicas, Distribuição e Biodisponibilidade

Maria Luiza Franceschi Nicodemo
Valdemir Antônio Laura

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Corte

Rodovia BR 262 Km 4, CEP 79002-970 Campo Grande, MS

Caixa Postal 154

Fone: (67) 368 2064

Fax: (67) 368 2180

<http://www.cnp gc.embrapa.br>

E-mail: sac@cnp gc.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Cacilda Borges do Valle*

Secretário-Executivo: *Osní Corrêa de Souza*

Membros: *Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima, Ezequiel Rodrigues do Valle, José Raul Valério, Manuel Cláudio Motta Macedo, Maria Antonia Martins de Ulhôa Cintra, Tênisson Waldow de Souza, Valéria Pacheco Batista Euclides*

Supervisor editorial: *Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima*

Revisor de texto: *Lúcia Helena Paula do Canto*

Normalização bibliográfica: *Maria Antonia M. de Ulhôa Cintra*

Tratamento de ilustrações: *Paulo Roberto Duarte Paes*

Foto(s) da capa: *Thea Tavares*

Editoração eletrônica: *Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima*

1ª edição

1ª impressão (2001): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Gado de Corte.

Nicodemo, Maria Luiza Franceschi

Elementos minerais em forrageiras: formas químicas, distribuição e biodisponibilidade / Maria Luiza Franceschi Nicodemo, Valdemir Antônio Laura. -- Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001.

39 p. ; 21 cm. -- (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1517-3747 ; 115)

ISBN 85-297-0115-1

1. Bovino - Absorção de nutrientes. 2. Planta forrageira - Mineral. 3. Nutrição animal. I. Laura, Valdemir Antônio. II. Embrapa Gado de Corte (Campo Grande, MS). IV. Título. V. Série. CDD 636.085 (21.ed.)

© Embrapa 2001

Autores

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Zootecnista, Ph.D., CRMV-MS Nº 100-Z

Embrapa Gado de Corte, Rodovia BR 262 Km 4, Caixa Postal 154, CEP 79002-970 Campo Grande, MS.

Endereço eletrônico: luiza@cnpqg.embrapa.br

Valdemir Antônio Laura

Engenheiro-Agrônomo, M.Sc., CREA-MS Nº 5.224/D

Embrapa Gado de Corte, Rodovia BR 262 Km 4, Caixa Postal 154, CEP 79002-970 Campo Grande, MS.

Endereço eletrônico: valdemir@cnpqg.embrapa.br

Sumário

Resumo	7
Abstract	9
Introdução	10
Biodisponibilidade do elemento na dieta	11
Formas químicas e associações dos elementos minerais na planta	13
Fatores que influenciam a biodisponibilidade de minerais nas forrageiras	23
Referências bibliográficas	29

Elementos Minerais em Forrageiras: Formas Químicas, Distribuição e Biodisponibilidade

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Valdemir Antônio Laura

Resumo

A eficiência de absorção do mineral da dieta é um elemento importante nas estimativas de exigências nutricionais. A eficiência de absorção de um determinado mineral pode variar com fatores ligados ao animal (características genéticas, estágio fisiológico e taxa de crescimento e outros) e pela capacidade da dieta em disponibilizar o nutriente em questão (relacionada principalmente com a forma química e associações estruturais na planta). Outros nutrientes (proteínas, energia, demais minerais) e fatores antinutricionais (glicosídeos cianogênicos, oxalato), dependendo das quantidades presentes, podem interagir com o mineral e alterar sua eficiência de absorção e sua retenção pelo animal. Alguns desses aspectos serão abordados nesta revisão.

Palavras-chave: absorção, alimentos, forrageiras, minerais.

Minerals in Forages: Chemical Forms, Distribution and Bioavailability

Abstract

The efficiency of absorption of minerals in the diet is important for the estimatives of dietary requirements. The efficiency of absorption of a given mineral may vary due to animal factors (e.g. genetics, physiological status, growth rate) and due to the diet's capacity to provide the nutrient (primarily related to chemical species and structural associations in the plant). Other nutrients (such as protein, energy, minerals) and anti-nutritional factors (cyanogenic glisosides, oxalate) depending on the amounts present in the diet interact with the mineral evaluated and may alter its efficiency of absorption and its retention by the animal. Some of these aspects are discussed in this review.

Key-words: absorption, forage, minerals, natural feed.

Introdução

Um nutriente é considerado essencial se sua remoção da dieta interfere com a habilidade do organismo de sobreviver e reproduzir-se. Os elementos minerais essenciais na dieta de bovinos de corte são classificados como macroelementos (cálcio, magnésio, fósforo, potássio, sódio, cloro e enxofre) e microelementos (cromo, cobalto, cobre, iodo, manganês, ferro, molibdênio, níquel, selênio e zinco). Não são conhecidas as exigências nutricionais de cromo, níquel, molibdênio e cloro para bovinos de corte. Outros minerais, como arsênico, boro, chumbo, silício e vanádio, são necessários para uma ou mais espécies, mas não existem indicações de que sejam de alguma importância em dietas práticas para bovinos (National Research Council - NRC, 1996).

A principal fonte para aquisição desses elementos minerais são os alimentos, em especial as forrageiras, que por sua vez os absorvem do solo, de acordo com sua presença e disponibilidade. Os valores críticos para o crescimento de forrageiras podem ser diferentes das necessidades do animal. Para alguns minerais, as exigências das plantas ultrapassam as dos bovinos, como é o caso do potássio. Entretanto, para P, Ca, Mg, Na e a maioria dos microelementos, os valores necessários para os bovinos ultrapassam as necessidades das plantas. As concentrações normais de Mo, Se e Cu para plantas podem ser tóxicas para os animais. Não existem indicações definitivas da necessidade das plantas por Na, I e Se, e, enquanto B é de suma importância às leguminosas e outras plantas, os bovinos não têm exigência clara desse elemento (Salette, 1982).

As formas químicas em que os minerais estão presentes nas forrageiras e a maneira como eles se associam aos componentes estruturais das plantas influenciam a sua participação nos processos metabólicos dos animais. Os bovinos conseguem contornar algumas dessas interferências pela ação de microorganismos do rúmen, capazes, por exemplo, de quebrar o fitato dos grãos e o oxalato das folhas, disponibilizando, respectivamente, o fósforo e o cálcio. A adubação, por sua vez, pode alterar a proporção de nutrientes e partes da planta, além de possibilitar a formação de maior quantidade de reservas.

Nesta revisão abordam-se fatores que podem influenciar a distribuição e as formas químicas dos elementos minerais na planta, trazendo impactos potenciais sobre a disponibilidade biológica para ruminantes.

Biodisponibilidade do elemento na dieta

As estimativas de exigências nutricionais para animais podem ser baseadas nas estimativas das quantidades de minerais depositadas nos tecidos (músculo, vísceras, ossos, feto, anexos fetais) ou nas secreções (leite, suor), produzidos nos vários estádios fisiológicos, acrescidos das perdas endógenas obrigatórias do organismo. Esses fatores somados representam as necessidades fisiológicas nos tecidos, chamadas de exigências líquidas. Dividido pelo coeficiente de absorção apropriado, esse valor origina as exigências nutricionais do elemento na dieta (Little, 1984).

As informações existentes sobre a biodisponibilidade de minerais em alimentos comuns, particularmente as forrageiras, para ruminantes são limitadas (Field, 1983; Miller, 1983; Fick et al., 1976; McDowell, 1985; Horst, 1986). Relativamente pouco se sabe a respeito da forma na qual os minerais estão presentes nas plantas (Whitehead et al., 1985) ou dos fatores que controlam a biodisponibilidade (Playne, 1976; Powell et al., 1978; Reid & Horvath, 1980) por causa das dificuldades de sua determinação (Butler & Jones, 1973).

Os ensaios de digestibilidade convencionais são a forma mais comum de avaliação da capacidade da planta de suprir minerais para o animal. As comparações entre alimentos são feitas usando animais da mesma idade, com “reservas” corporais e consumo total do elemento estudado semelhantes (Playne, 1976). Por meio dos ensaios de digestibilidade convencionais, obtém-se a absorção aparente. Como nas fezes se encontra não apenas a fração não absorvida do alimento, mas também uma fração secretada no trato gastrointestinal e não reabsorvida, chamada fração fecal endógena, os valores de absorção aparente são mais baixos que os de absorção verdadeira (Little, 1984).

A fração fecal endógena, utilizada no cálculo da absorção verdadeira, pode ser estimada em alguns casos por marcação dos tecidos corporais com o isótopo do elemento em estudo e subsequente medida da extensão de diluição da fração endógena do mineral total das fezes (ou urina) (Kleiber et al., 1951). Outras formas de se calcular a excreção fecal endógena envolvem a utilização de dietas livres do elemento ou o uso de equações de regressão da retenção do elemento em relação a diferentes taxas de ingestão, obtidas em ensaios de balanço. Esses dois últimos métodos apresentam inconvenientes, fornecendo valores de

excreção endógena mais baixos que aqueles obtidos pelo método isotópico (Playne, 1976).

Dentre os macroelementos, sódio e potássio são excretados principalmente na urina, e os valores de absorção aparente e absorção verdadeira aproximam-se bastante. Já o cálcio, fósforo e magnésio são excretados principalmente pelas fezes, originando baixos valores de absorção aparente (Little, 1984).

Num trabalho pioneiro, Kleiber et al. (1951) mediram o fósforo fecal endógeno para calcular a absorção verdadeira de fósforo no alimento; a vaca que ingeriu maior quantidade de matéria seca mostrou absorção aparente do fósforo da ordem de 12%; a absorção verdadeira foi de 50%. Entretanto, a vaca com baixo consumo de matéria seca excretava mais fósforo nas fezes do que havia consumido, e, para esse animal, a absorção verdadeira do fósforo foi de 64%.

Os métodos que estudam o balanço entre entrada e saída de nutrientes têm uso limitado para animais adultos ou para animais que recebem níveis de manutenção do elemento que se pretende avaliar (Playne, 1976). Devem ser utilizados animais marginalmente deficientes no mineral estudado, cujos requisitos sejam substanciais (Little, 1984). No caso do cálcio, por exemplo, a regulação da eficiência de absorção do elemento da dieta tem papel fundamental na manutenção da homeostasia em ruminantes, e pode ser alterada também em função do estágio fisiológico. A dieta deve apresentar baixas concentrações de cálcio (inferior às exigências nutricionais) para que naquelas condições seja possível estimar a máxima biodisponibilidade (Chrisp et al., 1989).

Estudos de balanço conduzidos com animais em crescimento rápido, especialmente quando associados a análises de carcaça, podem ser úteis. Esses trabalhos devem ter longa duração (Playne, 1976).

Mesmo quando os dados de absorção verdadeira são obtidos, eles necessitam de uma interpretação cuidadosa: ocorre considerável variação na disponibilidade dos minerais, tanto entre os animais, quanto no mesmo animal de um dia para o outro (Butler & Jones, 1973). Field et al. (1984) observaram que a diferença de biodisponibilidade entre os alimentos estudados, concentrados ou forrageiras, pode ser facilmente perdida se as comparações forem feitas entre animais, ao invés de no mesmo animal.

A importância relativa das duas fontes de variação, animal e dieta, sobre a biodisponibilidade de minerais da dieta vai depender do elemento em questão. Por exemplo, para o cálcio, as diferenças em biodisponibilidade estão relacionadas, principalmente, com as diferenças entre as dietas na proporção de mineral disponível para absorção. No caso de magnésio, a alteração da dieta reflete relativamente pouco sobre a eficiência de absorção quando comparada à dimensão das diferenças entre indivíduos. Assim, enquanto a eficiência de absorção pode variar em até sete vezes (5% a 35%) entre indivíduos submetidos à mesma dieta, a redução na absorção do magnésio da dieta induzida por alta ingestão de potássio (o maior e mais consistente efeito dietético) é de apenas 40% (Field, 1981).

Diversos fatores podem atuar na definição de biodisponibilidade de um dado mineral na dieta, entre eles a forma química do elemento na planta (Field, 1979, 1981; Little, 1984), embora possam ocorrer mudanças significativas em função da atividade microbiana no rúmen e da digestão ácida no abomaso (Little, 1984).

Formas químicas e associações dos elementos minerais na planta

Tanto a forma química em que os minerais ocorrem na planta como a digestibilidade das frações da forrageira a que eles estão associados devem afetar a absorção dos minerais pelo bovino (Little, 1984).

Glicose, frutose, sacarose e polissacarídeos de reserva (amido, frutanas) são os principais carboidratos solúveis encontrados na fração celular, enquanto os carboidratos estruturais, presentes na parede celular, são representados por celulose, hemicelulose e lignina. Para o ruminante, o conteúdo celular apresenta geralmente maior digestibilidade que as frações de parede celular (Norton, 1984).

A natureza e concentração de carboidratos estruturais na parede celular são as principais determinantes da qualidade da forragem e os componentes menores da parede afetam digestão ruminal da celulose e da hemicelulose. A lignina é um composto heterogêneo que não é digerida pelos microorganismos do rúmen nem por enzimas intestinais. Ao ligar-se aos outros componentes da fibra, a lignina

restringe a entrada das enzimas microbianas, deprimindo a digestibilidade da mesma (Norton, 1984).

Whitehead et al. (1985) avaliaram a associação das frações celulares a minerais presentes em forrageiras temperadas, e encontraram concentrações relativamente baixas de fósforo, nitrogênio, potássio e enxofre associados à parede celular. Neste caso, a fração de parede celular correspondeu a 25% a 46% do peso seco da forrageira. Esses autores encontraram associada à parede celular 2,5% a 16,4% do nitrogênio; 3% a 6,9% do fósforo; 3,6% a 17,2% do enxofre; 11,3% a 51,8% do cálcio; 6,4% a 27,6% do magnésio; e 0,1% a 1,7% do potássio. A concentração de microelementos nessa fração foi significativa, mas bastante variável.

A distribuição dos elementos na planta depende de sua mobilidade e função. Íons menos móveis e imóveis tendem a acumular nas folhas velhas porque aí ocorre a maior parte da transpiração. Pode haver tendência para os elementos se depositarem nas margens das folhas, onde a transpiração é máxima. Os elementos imóveis podem se acumular em concentrações muito grandes nas folhas (Tinker, 1981).

O **fósforo** está presente na planta na forma inorgânica como ortofosfatos (solúveis ou não) e, em menor extensão, como pirofosfatos (ISMA, s.d.; Mengel & Kirby, 1987). O fósforo inorgânico atinge níveis altos na planta (Butler & Jones, 1973), geralmente compreendendo a maior proporção (40% a 80%) do fósforo presente. A proporção de fósforo inorgânico eleva-se com o aumento da concentração do elemento na planta (Playne, 1976).

O estudo de Whitehead et al. (1985) indicou que o fósforo está associado, principalmente, ao conteúdo celular de forrageiras temperadas. Ortofosfatos inorgânicos são totalmente disponíveis para absorção, e não existem evidências de que plantas com baixa relação P inorgânico:P total apresentem baixa biodisponibilidade (Playne, 1976). Nas formas orgânicas, o ortofosfato pode ser esterificado com grupos hidroxila de açúcares e álcoois (principalmente compostos do metabolismo intermediário); pode se ligar a compostos lipídicos, particularmente derivados do fosfatidil (fosfolipídeos, como a lecitina); pode ainda se ligar por pirofosfatos a outro grupo fosfato, e o composto mais importante deste grupo é o trifosfato de adenosina, ATP.

O fósforo também faz parte da fitina, éster hexafosfórico de inositol (Mengel & Kirby, 1987). Duas moléculas de fitato são unidas por cátions produzindo a fórmula aproximada: $\text{Ca}_5 \text{Mg}$ (ou K) $(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_{24} \text{P}_6 \cdot 3 \text{H}_2\text{O})_2$ (Fontaine et al., 1946 citados por Nelson et al., 1976). O fosfato de reserva da planta está como fitina nas sementes e frutos e, na forma inorgânica, nos tecidos vegetativos (Butler & Jones, 1973). A concentração de P fítico em grãos de cereais é relativamente alta, representando cerca de 50% e 80% do P total (Common, 1940). Nas plantas deficientes, são principalmente os níveis de P das reservas que decrescem (Mengel & Kirkby, 1987).

A relação fosfato inorgânico:fosfato orgânico reduz-se à medida que a planta envelhece (Cohen, 1975). Lakke-Gowda et al. (1955) relataram aumento na proporção de fitato em relação ao fósforo inorgânico com o avanço da idade. Apesar de a disponibilidade do P fítico para ruminantes ser aparentemente semelhante à de fosfatos inorgânicos, há algumas evidências de que o P fítico possa ser menos retido (Dutton & Fontenot, 1967) e se tornar menos disponível quando a relação Ca:P é aumentada (Braithwaite, 1976; Cohen, 1975).

A definição do valor utilizado para o coeficiente de absorção do fósforo foi muito questionada. Enquanto o Agricultural and Food Research Council – AFRC (1991) considerou que a eficiência de absorção de P é reduzida em dietas à base de forrageiras (0,58 vs 0,70 nas dietas à base de concentrados), o valor utilizado pelo NRC (1996) para o coeficiente de absorção de P é de 0,68, sem distinguir entre o tipo de dieta. Aparentemente, a disponibilidade do fósforo de forrageiras tropicais é bem mais alta do que essas estimativas levavam a crer. Gutierrez et al. (1988) e Ternouth & Coates (1997) indicaram que o coeficiente de absorção de P de bovinos consumindo forrageiras tropicais se situa em torno de 0,75 a 0,80. Gueguén & Demarquilly (1965) observaram grande variação nas estimativas de absorção de fósforo em ovinos consumindo forrageiras temperadas verdes, dependendo da época do ano.

O **cálcio** ocorre na planta como Ca^{++} livre, como Ca^{++} adsorvido a íons indifusíveis (grupos OH pirrólicos, carboxílicos e fosforilados) e na forma de oxalato, carbonato e fosfato de cálcio (Mengel & Kirkby, 1987). Grandes quantidades de cálcio associam-se à parede celular (Emanuele & Staples, 1990), especialmente em leguminosas, onde o conteúdo de pectinas é mais elevado (Whitehead et al., 1985). Na parede celular, o cálcio está associado a grupos carboxílicos livres das pectinas e satura a maioria desses sítios (Mengel &

Kirkby, 1987). Essa associação reflete-se no maior tempo de fermentação ruminal necessário para que ocorra a liberação máxima do cálcio, em comparação a outros minerais, como P e K (Emanuele & Staples, 1990).

Algumas forrageiras acumulam oxalatos. O oxalato geralmente reage com cátions monovalentes como potássio ou sódio formando sais solúveis de oxalato, mas forma também quelatos menos solúveis com cátions bivalentes como cálcio e magnésio. Desses quelatos, oxalato de cálcio é o mais estável e menos solúvel. Esses cristais insolúveis formam-se nos vacúolos de células especializadas, que estão geralmente associados ao sistema vascular das plantas. Quando associado a essa fração da planta, de baixa digestibilidade, o cálcio está essencialmente indisponível para o animal, e os cristais de oxalato tendem a passar intactos pelo trato digestivo dos animais (Ward et al., 1979; Marais et al., 1997).

A biodisponibilidade do cálcio nas forrageiras tropicais é um dos tópicos em nutrição mineral de bovinos que necessita de mais estudos. Algumas forrageiras tropicais (Tabela 1) podem apresentar níveis altos de oxalato ($> 1\%$) e baixa razão Ca/oxalato ($< 0,3$) (Nunes et al., 1990), mas bovinos tem a capacidade de degradar, ao menos parcialmente, oxalatos no rúmen. Contudo, níveis altos de oxalato (1,3% a 1,8%) podem reduzir a biodisponibilidade do cálcio da forrageira em cerca de 20% (Blaney et al., 1982). Embora não haja relatos de deficiência clínica de cálcio em bovinos de corte mantidos em pastagens da região dos Cerrados, intoxicação aguda por oxalato foi descrita em vacas lactantes, subalimentadas, pastejando setária (Schenk et al., 1982).

Tabela 1. Concentrações de cálcio, fósforo, oxalato total e razão cálcio/oxalato na matéria seca das folhas de gramíneas tropicais.

Forrageiras					
<i>Setaria anceps</i> cv. Kazungula	Setaria	0,27	0,25	2,80	0,10
<i>Brachiaria humidicola</i>	Humidicola	0,41	0,18	1,80	0,23
<i>Panicum maximum</i> cv. Colonião	Colonião	0,30	0,14	2,21	0,13
<i>Brachiaria</i> sp.	Tangola	0,34	0,13	1,55	0,22
<i>Digitaria decumbens</i> cv. Transvala	Transvala	0,53	0,12	2,30	0,23
<i>Brachiaria dictyoneura</i> cv. Llanero	Llanero	0,21	0,17	1,62	0,13
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Quicuí	0,36	0,36	1,30	0,28

⁽¹⁾ Equivalente a ácido oxálico.

Fonte: Nunes et al. (1990).

O **magnésio** associa-se, principalmente, à fração solúvel da matéria seca (Emanuele & Staples, 1990; Whitehead et al., 1985; Ledoux & Martz, 1989). Alta proporção do Mg (70%) é difusível e associa-se a ânions inorgânicos e a ânions de ácidos orgânicos, como malato e citrato. O Mg associa-se, também, a ânions indifusíveis, como oxalato e pectato (Mengel & Kirkby, 1987). Variações no teor de Mg total refletem-se principalmente na fração hidrossolúvel, sendo o Mg da clorofila e da fibra afetados em extensão muito menor (Todd, 1961). O teor de Mg total da planta associado à clorofila é relativamente pequeno (10% a 20%), não excedendo 30% mesmo em plantas deficientes em Mg (Mengel & Kirkby, 1987; Todd, 1961). Apenas cerca de 1/3 do Mg está associado à fibra, que constitui 2/3 da matéria seca total. Gramíneas (Van Eys & Reid, 1987) e silagens de gramíneas temperadas (Rooke et al., 1983) apresentaram desaparecimento rápido da maior parte do magnésio inicialmente presente na forragem ao serem incubadas no rúmen. Entretanto, as paredes celulares das bactérias ruminais podem complexar o magnésio, reduzindo as quantidades do elemento potencialmente disponíveis para o bovino (Rooke et al., 1983).

O **potássio** e o **sódio** ocorrem na planta principalmente na forma iônica ou em compostos prontamente trocáveis (Butler & Jones, 1973). Embora o potássio seja essencial para as forrageiras, ao contrário do sódio, cuja concentração na planta pode prejudicá-la, não devem ser esperadas grandes diferenças na biodisponibilidade do potássio entre forrageiras para ruminantes. Isso ocorre por causa da alta solubilidade (Emanuele & Staples, 1990; Whitehead et al., 1985; Grace et al., 1977) e rapidez de absorção das formas desse elemento geralmente encontradas na dieta (Peeler, 1972) e o mesmo pode ser esperado do sódio.

O **potássio** encontra-se, principalmente, associado ao conteúdo celular, correspondendo a essa fração mais de 98% do teor total do elemento nas forrageiras temperadas estudadas por Whitehead et al. (1985). Da mesma forma, Van Eys & Reid (1987) observaram rápida liberação de grande proporção do K de gramíneas temperadas, indicando sua presença na fração celular solúvel. Gueguen & Demarquilly (1965) observaram que a biodisponibilidade estimada para o potássio permaneceu em cerca de 90% durante o ano todo para ovinos suplementados com forrageiras temperadas verdes. Da mesma forma, Rooke et al. (1983), ao incubarem silagens de gramíneas temperadas no rúmen de bovinos, relataram o desaparecimento rápido de mais de 90% do sódio e 80% do potássio inicialmente presentes.

O **enxofre** está presente na forrageira como sulfato iônico inorgânico e numa variedade de compostos orgânicos, principalmente como grupos sulfidríla e seus derivados. Nas proteínas, enxofre participa dos aminoácidos metionina, cistina e cisteína; espera-se que a maioria das dietas que fornecem concentrações adequadas de proteína também forneça quantidades adequadas de enxofre aos bovinos (NRC, 1984).

Estudos de digestibilidade *in situ* (Van Eys & Reid, 1987) mostraram solubilização de S paralela à de N em gramíneas temperadas. As quantidades desses elementos liberadas nas primeiras três horas de incubação variaram de 40% a 75% do total, sendo essas as frações provavelmente associadas à porção celular solúvel. Whitehead et al. (1985), usando técnicas diferentes, também relataram que a maior parte do enxofre estava associada ao conteúdo celular das forrageiras temperadas estudadas, de maneira semelhante ao fósforo e nitrogênio. Enxofre está também presente nos sulfolipídeos e em muitos compostos do metabolismo intermediário, incluindo coenzima A, tiamina e biotina. Alguns metabólitos secundários sulfurados acumulam-se nas plantas, como os glicosinolatos (Butler & Jones, 1973).

O **cloro** é um microelemento essencial para as plantas. Está sempre presente na forragem como o íon cloreto. O íon cloro é necessário para a fotooxidação da água no fotossistema II, que resulta na produção de oxigênio nos cloroplastos (Butler & Jones, 1973).

Os micronutrientes (cromo, cobalto, cobre, iodo, ferro, manganês, molibdênio, níquel, selênio e zinco) são requeridos em pequena concentração na dieta pelo animal (NRC, 1996). Nas plantas, os microelementos essenciais podem ser separados em dois grupos, e são eles os micronutrientes aniônicos (boro, cloro e molibdênio) e micronutrientes catiônicos (cobre, ferro, manganês e zinco) (Dechen et al., 1991).

Os padrões de acumulação e distribuição de elementos traços variam muito dependendo do elemento, tipo de planta, e época de crescimento (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). As plantas distribuem os metais internamente de diversas maneiras: podem posicionar certos metais nas raízes e caules, ou podem acumular metais em formas não tóxicas para posterior distribuição e uso. Um mecanismo de tolerância em algumas espécies envolve a ligação de metais potencialmente tóxicos às paredes celulares de raízes e folhas, distantes dos

lugares sensíveis dentro da célula (Tiffin, 1977).

Os microelementos estão essencialmente presentes em três formas: metaloproteínas (na forma de enzimas), que representam pequena fração do elemento presente na planta; complexados com ligninas, proteínas, pectinas e celulosas da parede celular; ou como íons livres (caso do manganês) ou complexos de baixa massa molecular (como o cobre, zinco, níquel e ferro) nos fluidos do floema e xilema e nos vacúolos (Tinker, 1981).

É interessante notar que proporções variáveis e por vezes bastante elevadas de microelementos podem estar associadas à parede celular, como foi observado por Whitehead et al. (1985), correspondendo de 16% a 94% do total de manganês, 24% a 78% do total de zinco e de 18% a 44% do total de cobre das forrageiras temperadas avaliadas.

Butler & Jones (1973) consideravam que o **ferro** ocorria nas células da planta principalmente na forma de porfirinas (estruturas cíclicas de tetrapirrol com um átomo de ferro num arranjo coplanar), atuando como grupos prostéticos ou funcionais para os citocromos, peroxidases, catalase e nas leguminosas, como leghemoglobina, com a parte do ferro não porfirínico presente em muitas enzimas, como ferredoxinas. Tinker (1981), no entanto, avalia que apenas uma pequena porção do mineral normalmente se associa às enzimas. Fito ferritina é a forma de armazenamento do ferro não tóxica na planta, encontrada nos plastídios em formação e nos cloroplastos maduros, assim como nos cotilédones das plantas novas (Tiffin, 1972). Aparentemente, uma proporção razoável do ferro está associada a constituintes orgânicos grandes, uma vez que não mais de 35% do total do ferro foi solubilizado em água (Whitehead et al., 1985).

A maior parte do ferro move-se como citrato (Tiffin, 1972; Tinker, 1981). Em exsudatos de xilema de várias espécies, ferro está presente como complexo aniônico com citrato, malato e maleato (Butler & Jones, 1973). O ferro não é facilmente transportado nos tecidos e as deficiências ocorrem nas partes novas das plantas (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

O **manganês** tem um papel central na oxidação de duas moléculas de água a oxigênio molecular na planta. Ele ocorre quase sempre na forma livre (Mn^{++}) ou como complexos de baixa massa molecular de carga positiva (Tiffin, 1972; Tinker, 1981). Bremner & Knight (1970) estimaram que mais de 60% do

manganês em "ryegrass" está presente nessa forma.

Manganês é, preferencialmente, transportado para tecidos meristemáticos. Então, sua concentração é muitas vezes maior nos tecidos jovens em expansão.

Manganês parece ser pouco transportado pelo floema, o que pode explicar sua concentração relativamente baixa em frutos, sementes e órgãos de reserva das raízes. A mobilidade de manganês é menor quando há pouca disponibilidade do elemento para as plantas, reduzindo a translocação de manganês das folhas velhas para as novas nessas condições (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

A distribuição do **cobre** dentro da planta é variável. Nas raízes, o cobre está associado, principalmente, às paredes celulares e é largamente imóvel. Uma grande porção do cobre nos tecidos verdes parece associado à plastocianina e à alguma outra fração protéica, e os órgãos reprodutivos, dependendo da espécie da planta, podem acumular muito cobre (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Estudos de digestibilidade *in situ* indicam que o cobre na parte aérea de forrageiras está associado, principalmente, ao conteúdo celular (Emanuele & Staples, 1990). Tiffin (1972) e Loneragan (1981) afirmam que cobre tem afinidade pelo nitrogênio do grupo amino; compostos nitrogenados solúveis, como os aminoácidos, parecem atuar como carregadores desse elemento no xilema e no floema. O cobre é bem absorvido por ruminantes que consomem alimentos com baixo teor de fibras, como os grãos de cereais, mas sua absorção de forrageiras frescas é bem mais baixa. A disponibilidade do cobre em gramíneas pode ser menor que 10% daquela encontrada em outros alimentos (Suttle, 1986).

O cobre não é prontamente móvel na planta, embora possa ser translocado das folhas velhas para as novas, especialmente se o suprimento do elemento para a planta estiver adequado. A mobilidade do cobre nos tecidos vegetais aumenta com o nível de suprimento do elemento. Folhas de plantas com suprimento abundante de cobre perderam mais de 70% de seu cobre durante a formação do grão. Entretanto, as folhas de plantas de trigo deficientes em cobre perderam menos de 20% do cobre (Loneragan, 1975). A maior parte do cobre permanece nos tecidos das raízes e folhas até a senescência, e os órgãos jovens são os primeiros a desenvolver sintomas de deficiência de cobre. As maiores concentrações de cobre nos brotos estão associadas a fases de crescimento intenso e suprimento abundante do elemento (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

O **molibdênio** é componente essencial de várias enzimas, entre elas nitrogenase e redutase do nitrato. A maior parte do molibdênio está na redutase do nitrato das raízes e brotos e na nitrogenase dos bacterioides dos nódulos das leguminosas. Normalmente, as folhas contêm menos de 1 mg de molibdênio/kg de matéria seca, enquanto nódulos das raízes contêm várias vezes essa concentração (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Leguminosas, principalmente, podem acumular molibdênio nas folhas, especialmente quando crescem em solos alcalinos de alto teor de molibdênio (Millar, 1963). Ele é relativamente móvel na planta, e sugere-se que ele se move no xilema como molibdato, aminoácido-complexo de Mo-S ou como molibdato complexado com açúcares (Tiffin, 1972). O molibdênio de grãos de cereais e suplementos protéicos parece estar menos biodisponível do que aquele presente nas forrageiras (NRC, 1996).

O **iodo** está predominantemente na forma de iodeto inorgânico nas plantas superiores, mas existem evidências de que pequenas quantidades do elemento também podem ser encontradas em aminoácidos livres ou ligados à proteína (Fowden, 1959). A deficiência marginal de iodo nos bovinos pode ser exacerbada por substâncias bocígenas (tiocianatos e isotiocianatos, goitrinas e disulfetos alifáticos), que interferem com a síntese, processamento e liberação de hormônios tireoidianos podendo causar alargamento da tireóide (Graham, 1991). Apenas o efeito dos tiocianato e isotiocianato pode ser controlado com a suplementação de iodo na dieta.

O **selênio** pode substituir o enxofre na metionina para formar um análogo, selenometionina, que é a principal forma do selênio nas plantas. Os animais não sintetizam selenometionina, nem a distinguem da metionina, que passa a ser incorporada não-especificamente a uma gama de seleno-proteínas (Daniels, 1996). Na planta, selênio é translocado nas formas iônicas selenito e selenato. Em espécies que acumulam o selênio, este, quase todo, parece estar presente como seleno-aminoácidos (não-protéicos) solúveis (Butler & Jones, 1973), embora dúvidas persistam (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Aparentemente, o selênio na forma orgânica comumente encontrada nas plantas é tão disponível como selênio na forma inorgânica (selenito), mas a absorção e retenção do selênio para ovinos recebendo dietas à base de concentrados foram maiores do que para aqueles em dietas baseadas em forrageiras (Koenig et al., 1997).

O **cromo** geralmente acumula-se mais nas raízes do que nas folhas e brotos, restando muito pouco nas sementes. Tiffin (1977) concluiu que o cromo é

transportado nas plantas como complexos aniônicos que foram identificados em tecidos da planta e no fluído do xilema. Esse mesmo autor (Tiffin, 1972) menciona relato onde o cromo no xilema estava apenas na forma de cromato ($\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$). Nas folhas foi relatada a presença de um complexo de oxalato e cromo (trioxalatocromato) (Tinker, 1981).

Alguns autores consideram o **zinco** altamente móvel; outros atribuem a ele mobilidade intermediária. De fato, quando existe um grande suprimento de zinco, muitas espécies de plantas translocam quantidades apreciáveis do elemento das folhas velhas para órgãos de crescimento, mas quando as mesmas espécies estão em condições de deficiência, apresentam baixa mobilidade do nutriente nas folhas velhas (Loneragan, 1975). Geralmente, o zinco se acumula em folhas velhas. As raízes contêm maiores concentrações de zinco que a parte aérea, especialmente quando as plantas são cultivadas em solos ricos no elemento.

O zinco está fortemente ligado a complexos de carga negativa que formam mais da metade do total do metal presente na planta, e nessa forma é encontrado no floema (Tinker, 1981). Aparentemente, zinco liga-se com freqüência a proteínas solúveis de baixo peso molecular, embora possa também formar complexos insolúveis, como no caso da associação com o fitato (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Pouco se conhecem das formas químicas e biodisponibilidade de **níquel** nos alimentos (Spears, 1984). Como outros cátions bivalentes (cobalto, cobre e zinco), níquel forma complexos e compostos orgânicos (Tiffin, 1972; Cataldo et al., 1978; Tinker, 1981; Kabata-Pendias & Pendias, 1984), e dessa forma é transportado no xilema. O níquel é móvel na planta e pode acumular-se nas folhas e sementes (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Também fitato pode complexar níquel (Vohra et al., 1965 citado por Spears, 1984).

Nos nódulos das raízes, **cobalto** está geralmente associado à produção de compostos de vitamina B_{12} pelos rizóbios. Algumas plantas acumulam maiores concentrações de cobalto nas raízes e sementes (Hamilton, 1994). O cobalto é móvel no floema associado a complexos negativamente carregados de massa molecular entre 1.000 e 5.000 (Tinker, 1981).

Fatores que influenciam a biodisponibilidade de minerais nas forrageiras

A distribuição dos elementos nas diferentes partes da planta também afeta a biodisponibilidade, uma vez que se relaciona com a forma química de combinação do elemento (Fleming, 1973; Whitehead et al., 1985) e com a estrutura anatômica. Folhas, bainhas de folhas e caules são igualmente muito digestíveis durante a fase inicial do crescimento. No entanto, os caules amadurecem mais cedo, e seus componentes se modificam em taxas diferentes com a idade. O conteúdo celular das folhas e seu teor de proteína permanecem mais elevados, e a lignificação se dá mais lentamente (McDowell, 1985; Norton, 1984). Caules são, portanto, geralmente de qualidade inferior a das folhas em forrageiras maduras, mas a qualidade dos caules varia em função dessas estruturas na espécie vegetal considerada (Van Soest, 1982).

À medida que a planta floresce e entra em maturação, há declínio na qualidade da forragem, provocada pela translocação de carboidratos solúveis de caules e folhas para inflorescência e sementes, aumento nos teores de parede celular lignificada e queda na relação folha : caule (Norton, 1984; Little, 1984; McDowell, 1985).

Quando a planta amadurece, a quantidade de lignina se eleva mais rapidamente do que a de parede celular (Norton, 1984). A lignina é um composto heterogêneo que praticamente não é digerido pelos microorganismos ruminais nem por enzimas intestinais. Ao se incorporar à fração fibrosa da planta, evita a tumefação e restringe a entrada de enzimas microbianas, deprimindo a digestibilidade da fibra. O teor de lignina na parede celular é o principal determinante da extensão em que esta pode ser degradada (Norton, 1984). A lignina prende-se, prontamente, à maioria dos minerais, fazendo com que se precipitem e se tornem indisponíveis. A intensidade da ligação à fibra vai depender de outros minerais presentes (que podem deslocar parte do elemento do sítio de ligação) e da afinidade entre o elemento mineral e o sítio (Clydesdale, 1989).

Existem poucas informações sobre o efeito do estágio de crescimento da planta na disponibilidade biológica dos minerais (Powell et al., 1978). Foi observada

tendência à queda da utilização dos elementos minerais pelo animal em função da maturidade da planta por Powell et al. (1978), Van Eys & Reid (1987) e Fredeen (1989) em forragens temperadas e, por Perdomo et al. (1977) e Gutiérrez (1978), em gramíneas tropicais, embora existam dados divergentes (Gueguen & Demarquilly, 1965; Powell et al., 1978). Freeden (1989) observou que o coeficiente de absorção do cálcio de alfafa tendeu a reduzir-se com a maturidade (estádio vegetativo vs. floração), mas essa queda não foi significativa. Nesse estudo, em que cabras recebiam quantidades de cálcio apenas adequadas para atenderem às exigências nutricionais, a biodisponibilidade do cálcio na alfafa e no calcário foram semelhantes.

A digestão durante a fermentação ruminal provoca alterações significativas na biodisponibilidade de alguns minerais. A fitase, produzida pelas bactérias do rúmen, hidroliza o fitato a ácido fosfórico e inositol. Quando o fitato é quebrado, o P resultante fica disponível para o animal (Lofgreen & Kleiber, 1953; Tillman & Brethour, 1958; Nelson et al., 1976; Clark et al., 1986; Morse et al., 1992). Relatos de baixa disponibilidade do P fítico podem estar relacionados com a elevação da taxa de passagem, não permitindo a completa atividade da fitase antes do P atingir as regiões onde ocorre absorção (Nelson et al., 1976).

Fitato forma complexos estáveis in vitro com cobre, zinco, cobalto, manganês, ferro e cálcio. O fitato é um dos principais fatores que inibem a absorção de zinco (e ferro) em monogástricos (Sandberg, 1991), possivelmente pela formação de complexos insolúveis de fitato-cálcio-zinco no trato gastrointestinal superior que reduz a biodisponibilidade do zinco dietético nessas espécies (Davies & Reid, 1979). A atividade da fitase deve proteger o ruminante dessas interações, possíveis em condições de pH menos ácidas encontradas no intestino, à medida que se distancia do piloro. Estudos (Sebastian et al., 1996) mostraram que a suplementação de dietas de aves com fitase aumentou a retenção relativa de fósforo, cálcio, cobre e zinco em 12,5, 12,2, 19,3, e 62,3 unidades percentuais, respectivamente.

O oxalato pode estar presente em concentrações elevadas em certas gramíneas tropicais (Hintz et al., 1984; Nunes et al., 1990). No rúmen ocorre também a degradação de oxalatos (Cymbaluk et al., 1986). A degradação do oxalato é facilitada pela adaptação dos microorganismos a concentrações crescentes do complexo na dieta (Cymbaluk et al., 1986). O oxalato pode ser metabolizado pela *Oxalobacter formigenes*, uma bactéria gastrointestinal que ganha energia da

transformação de oxalato em ácido fórmico e CO_2 . É uma bactéria extremamente especializada, que depende do oxalato. Como o metabolismo do oxalato gera proporcionalmente pouca energia, quantidades relativamente grandes precisam ser metabolizadas para suprir as necessidades de crescimento da bactéria. Dessa maneira, uma população bastante pequena de bactérias dessa espécie no rúmen (10^4 - 10^5 células/mL) podem metabolizar bastante do oxalato ingerido (Weimer, 1998). Apesar disso, a disponibilidade do cálcio nas gramíneas contendo altos níveis de oxalato é aproximadamente 20% inferior à de gramíneas contendo baixas concentrações desse composto (Blaney et al., 1982).

Da mesma forma que a digestão microbiana pode contribuir para tornar os nutrientes mais disponíveis para os ruminantes, os microorganismos também complexam alguns minerais. Quando os minerais são solubilizados ou liberados no rúmen, eles podem ser absorvidos pelo bovino, passar com a digesta ou serem incorporados nas células microbianas, dependendo de exigências intracelulares para enzimas e processos metabólicos (Mackie & Therion, 1984). Cálcio, magnésio, zinco e cobre podem ser acumulados nas paredes das células bacterianas (Emanuele & Staples, 1990), de forma que, embora grande parte do elemento possa ser prontamente liberado das forrageiras, a disponibilidade do elemento para o bovino é baixa. Este é o caso do magnésio, por exemplo (Playne et al., 1978; Rooke et al., 1983; Whitehead et al., 1985; Emanuele & Staples, 1990; Agricultural Research Council – ARC, 1980).

Os níveis e proporções de outros nutrientes na dieta têm a capacidade de interferir na biodisponibilidade dos minerais. Assim, sabe-se que altos níveis de cálcio (Field et al., 1975), deficiência de energia (McMeniman & Little, 1974) ou sódio (Little, 1984) podem reduzir a absorção do P; a interação proteína/K ou os desequilíbrios protéico-energéticos reduzem a disponibilidade de magnésio (Reid & Horvath, 1980); a absorção de cálcio pode ser inibida pelo zinco ou pela deficiência protéica (Chrisp et al., 1989); e assim por diante. As revisões de Little (1984) e Christy (1984) abordaram alguns desses aspectos.

A adubação pode provocar variações consideráveis na biodisponibilidade, alterando as formas químicas predominantes, a relação caule:folha e as relações entre nutrientes na planta. A biodisponibilidade de minerais pode ser afetada pelo aumento na taxa de passagem de líquidos no rúmen e por competição entre os cátions mono e bivalentes nos sítios de absorção, metabolismo e excreção (Chiy et al., 1994).

O efeito dos fertilizantes na composição mineral é muito complexo porque depende de vários fatores: tipo de pastagem, método de utilização, retorno de excretas, pisoteio, clima, disponibilidade de água, nível de N e outros fertilizantes, tipo de solo, estágio, fase reprodutiva, idade da gramínea (Salette, 1982).

O efeito do fertilizante sobre os minerais presentes na planta segue mais ou menos o padrão observado para o nitrogênio. No caso da monocultura de gramínea, em solo deficiente no elemento, a resposta em produção à adubação é inicialmente linear. Observa-se o decréscimo inicial na concentração do elemento causada pelo grande aumento de produção de matéria seca inicial, seguido de incremento acentuado na concentração do elemento na forrageira. Quando a concentração dos demais nutrientes no solo é adequada, a adubação nitrogenada pode aumentar a concentração dos outros minerais na planta, mas se esses minerais estiverem em concentrações baixas ou marginais, a adubação pode levar à diluição deles no maior volume de massa produzido (Salette, 1982).

Exemplo dessa situação pode ser observado nas respostas encontradas por Andrade et al. (1996). A adubação nitrogenada de *Brachiaria ruziziensis* aumentou a produção de matéria seca em 319% e de proteína bruta em 598%. Aumentaram, ainda, as concentrações de enxofre, zinco e cobre da forrageira, mas as de fósforo e cálcio foram reduzidas, provavelmente como efeito da diluição.

A adubação pode acelerar o crescimento da forrageira, e o manejo deve ser alterado para que a forragem seja utilizada mais cedo. A taxa de lotação da pastagem pode necessitar de ajustes, caso contrário o pastejo seletivo se acentua. A queda da digestibilidade com o incremento da produção de matéria seca na adubação foi relacionada a mais rápida lignificação das hastes e alteração na proporção de folhas novas e maduras (Salette, 1982). Essas mudanças podem ter impacto na disponibilidade dos minerais.

Todd (1961) observou que o aumento dos teores de magnésio se reflete, principalmente, na fração hidrossolúvel. Quando as concentrações de Mg total caem abaixo de 0,2% da matéria seca, esta deixa de ser a maior fração, podendo representar apenas 1/3 do Mg total. Aumenta, assim, a proporção do Mg ligado à fibra, podendo haver redução na biodisponibilidade do mineral. Reid et al. (1978) encontraram alterações na absorção de Mg de diferentes gramíneas pelos animais após a fertilização com esse elemento, embora de modo geral não

levassem a mudanças consistentes nas leguminosas. A retenção do magnésio de fenos de gramíneas e de leguminosas aumentou em carneiros, com a adubação.

Já a adubação de plantas jovens com N e K pode ocasionar redução na digestibilidade do magnésio (ARC, 1980). Powley et al. (1977) encontraram valores de biodisponibilidade verdadeira de 24,4% e 29,5% do Mg total em "ryegrass" adubada pesadamente com potássio, e valores de 36,3% e 31% para "ryegrass" adubada com sódio. Também a adubação com P pode alterar a biodisponibilidade do Mg em certas espécies de forrageiras para o animal (Reid et al., 1979).

Playne (1976) comenta a escassez de informações sobre o efeito de fatores como fertilizantes e suprimento de água sobre a biodisponibilidade de fósforo. Essa observação pode ser estendida aos demais elementos. Coates & Ternouth (1992), na Austrália, observaram que os coeficientes de absorção de P em novilhas em pastos consorciados não adubados foram elevados (0,64-0,92) e mais altos em maio e agosto comparados com novilhas em pastagens adubadas anualmente com superfosfato (0,66-0,74). Os autores sugeriram que os menores coeficientes de absorção estavam provavelmente associados às altas concentrações de P na dieta, excedendo as exigências. Entretanto, a alta eficiência de absorção de P (0,83-0,88) nas novilhas que recebiam suplementação do elemento por meio da água de bebida (correspondendo a 35% da ingestão do total de P dietético) indica que nessa forma P está mais disponível do que na pastagem.

Embora se considerasse que a calagem pudesse permitir melhor utilização do cálcio da forrageira pelo animal, uma vez que plantas crescendo em meio com baixo cálcio disponível podem apresentar grande proporção do elemento (50%) na fração da parede celular ou como oxalato (Mengel & Kirkby, 1987), Marais et al. (1997) observaram o oposto. O conteúdo de cálcio no capim-quicuí (*Pennisetum clandestinum*) aumentou com o aumento da concentração de cálcio no meio de cultura em que foram produzidos. Embora a concentração total de oxalato nas folhas e talo se mantivesse constante, a proporção de oxalato de cálcio insolúvel aumentou em 52% na folha e em 74% na haste. Sugeriu-se que o maior influxo de cálcio para a planta deslocou os cátions monovalentes do oxalato solúvel, favorecendo a formação de oxalato de cálcio insolúvel, que pode estar menos disponível para o animal em pastejo.

Também o processamento da forrageira e a forma de conservação têm a capacidade de provocar alterações na biodisponibilidade de minerais. Whitehead et al. (1985) chamam a atenção sobre a secagem artificial, tratamento com produtos químicos (EDTA, por exemplo, pode remover grande parte dos cátions associados à parede celular) e o congelamento, este causando rompimento de membranas celulares e permitindo a associação dos elementos em complexos insolúveis. A aceleração da taxa de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal, por causa da redução do tamanho de partícula (Amboulou et al., 1977), pode provocar uma redução significativa na digestibilidade de alguns elementos minerais.

Existem também relatos de queda acentuada na utilização de minerais de forrageiras por fenação em condições desfavoráveis (Lamand et al., 1977).

O impacto das mudanças nas concentrações de molibdênio e enxofre na forragem sobre a biodisponibilidade do cobre altera-se dependendo da forma de conservação (Suttle, 1986). Feno e silagem apresentaram maior coeficiente de absorção do cobre (6,5% a 7%) que a gramínea fresca (2%) (gramínea com 0,2% S, 2,5 mg/kg Mo). A adição de formaldeído à silagem aumentou a biodisponibilidade do cobre da forrageira (coeficiente de absorção de 7% a 10%) em relação à silagem sem aditivo (coeficiente de absorção de 5%) e à gramínea fresca (coeficiente de absorção de 3%) (gramínea com 0,25 % S, 1 mg/kg Mo). À medida que o teor de enxofre da dieta aumenta, a vantagem da silagem sobre a gramínea fresca é perdida.

A menor biodisponibilidade do cobre para bovinos recebendo dietas à base de silagem de gramíneas foi relacionada com a hidrólise rápida das proteínas solúveis, gerando sulfetos. Esses sulfetos se combinariam com cobre, originando um complexo insolúvel, indisponível para utilização pelo animal. Tal situação não seria encontrada na fenação, por reduzir a concentração e solubilidade da proteína (Ho et al., 1980).

O tipo de dieta afeta sistematicamente a eficiência de absorção de alguns elementos, como fósforo. Dependendo do padrão de mastigação, há modificação na partição do P excretado pelas rotas fecal e urinária. Em dietas à base de forrageiras, os ruminantes excretam menos P na urina, mais P endógeno nas fezes e apresentam menores concentrações plasmáticas do elemento (Field et al., 1984), por causa do aumento da secreção de P via saliva.

A precisão com que a eficiência de absorção pode ser descrita é a principal fonte de erro nas estimativas de exigências nutricionais (Field, 1979, 1981; Little, 1980), havendo necessidade de se fazerem ajustes ocasionais nos níveis de minerais sugeridos nas tabelas (NRC, 1984). Existem indicações de que diferenças na disponibilidade de minerais entre cultivares e espécies forrageiras podem afetar diretamente o desempenho dos animais (Patil & Jones, 1970; Powell et al., 1978).

Referências bibliográficas

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. Technical Committee on Responses to Nutrients. Commonwealth Agricultural Bureaux International. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, v. 61, p. 573-612, 1991.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. **The nutrient requirement of ruminant livestock**. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980. 351 p.

AMBOULOU, D.; LAMAND, D.; RAYSSIGUIER, Y. Chopping versus grinding and pelleting of hay: affect on availability of trace elements (Cu, Zn and Mn) and majorelements (Ca, P and Mg). **Annales de Recherches Vétérinaires**, Paris, v. 8, n. 1, p. 1-6, 1977.

ANDRADE, J. B.; BENINTENDE, R. P.; FERRARI JUNIOR, E.; PAULINO, V. T.; HENRIQUE, W.; WERNER, J. C.; MATTOS, H. B. Efeito das adubações nitrogenada e potássica na produção e composição da forragem de *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 9, p. 617-620, 1996.

BLANEY, B. J.; GARTNER, R. J. W.; HEAD, T. A. The effects of oxalate in tropical grasses on calcium, phosphorus and magnesium availability to cattle. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 99, n. 3, p. 533-539, 1982.

BRAITHWAITE, G. D. Reviews of the progress of dairy science. Calcium and phosphorus metabolism in ruminants with special reference to parturient paresis. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 43, n. 3, p. 501-520, 1976.

BREMNER, I.; KNIGHT, A. H. The complexes of zinc, copper and manganese present in ryegrass. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 24, n.1, p. 279-289, 1970.

BUTLER, G. W.; JONES, D. I. H. Mineral Biochemistry of herbage. Butler, G. W. & Bailey, R. W., (Ed.). **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic Press, 1973. p. 127-162.

CATALDO, D. A.; GARLAND, T. R.; WILDUNG, R. E.; DRUCKER, H. Nickel in plants. II. Distribution and chemical form in soybean plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 62, p. 566, 1978.

CHIY, P. C.; PHILLIPS, C. J. C.; AJELE, C. L. Sodium fertilizer application to pasture. 5. Effects on herbage digestibility and mineral availability in sheep. **Grass Forage Science**, Oxford, v. 49, p. 25-33, 1994.

CHRISP, J. S.; SYKES, A. R.; GRACE, N. D. Kinetic aspects of calcium metabolism in lactating sheep offered herbages with different Ca concentrations and the effect of protein supplementation. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 61, n. 1, p. 45-58, 1989.

CHRISTY, H. Fatores que interferem com a absorção intestinal de minerais e uma solução para o problema. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO MINERAL, 1., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sindicato Nacional de Indústrias de Defensivos Animais, 1984. p. 19-27.

CLARK JUNIOR, W. D.; WOHLT, J. E.; GILBREATH, R. L.; ZAJAC, P. K. Phytate phosphorus intake and disappearance in the gastrointestinal tract of high producing dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, n. 12, p. 3151-3155, 1986.

CLYDESDALE, F. M. The relevance of mineral chemistry to bioavailability. **Nutrition Today**, Baltimore, v. 24, n. 2, p. 23-30, 1989.

COATES, D. B.; TERNOUTH, J. H. Phosphorus kinetics of cattle grazing tropical pastures and implications for the estimation of their phosphorus requirements. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 119, n. 3, p. 401-409, 1992.

COHEN, R. D. H. Phosphorus and the grazing ruminant. **World Review of Animal Production**, Roma, v. 11, n. 2, p. 27-43, 1975.

COMMON, R. H. The phytic acid content of some poultry feeding stuffs. **The Analyst**, London, v. 65, n. 767, p. 79-82, 1940.

CYMBALUK, N. F.; MILLAR, J. D.; CHISTENSEN, D. A. Oxalate concentration in feeds and its metabolism by ponies. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 66, p. 1107-1116, 1986.

DANIELS, L. A. Selenium metabolism and bioavailability. **Biological Trace Element Research**, Totowa, v. 54, n. 3, p. 185-199, 1996.

DAVIES, N. T.; REID, H. An evaluation of the phytate, zinc, copper, iron and manganese contents of, and zn availability from, soya-based textured-vegetable-protein meat-substitutes or meat-extendors. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 41, n. 3, p. 579-589, 1979.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos-CNPq, 1991. p. 79-98.

DUTTON, J. E.; FONTENOT, J. P. Effects of dietary organic phosphorus on magnesium metabolism in sheep. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, p. 1409, 1967.

EMANUELE, S. M.; STAPLES, C. R. Ruminal release of minerals from six forage species. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 7, p. 2052-2060, 1990.

FICK, K. R.; McDOWELL, L. R.; HOUSER, R. H.; SILVA, M. M. Atual situação da pesquisa de minerais na América Latina. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE PESQUISA EM NUTRIÇÃO MINERAL DE RUMINANTES EM PASTAGENS, 1976, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 1976. p. 261-297.

FIELD, A. C. Mineral metabolism. In: **The management and disease of sheep**. Edinburgh: British Council and Commonwealth Agricultural Bureaux, 1979. p. 175-182.

FIELD, A. C. Some thoughts on dietary requirements of macro-elements for ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 40, n. 3, p. 267-72, 1981.

FIELD, A. C. Maintenance requirements of P and absorbability of dietary P in sheep. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 100, p. 231-233, 1983.

FIELD, A. C.; SUTTLE, N. F.; NISBET, D. I. Effect of diets low in calcium and phosphorus on the development of growing lambs. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 85, p. 435-442, 1975.

FIELD, A. C.; WOOLLIAMS, J. A.; DINGALL, R. A.; MUNRO, C. S. Animal and dietary variation in the absorption and metabolism of phosphorus by sheep. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 103, n. 2, p. 283-291, 1984.

FLEMING, G. A. Mineral composition of herbage. In: BUTLER, G. W.; BAILEY, R. W. (Ed.). **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic Press, 1973. p. 529-566.

FOWDEN, L. **Physiologia Plantarum**. Copenhagen, v. 12, p. 657-664, 1959.

FREEDEN, A. H. Effect of maturity of alfalfa (*Medicago sativa*) at harvest on calcium absorption in goats. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 69, n. 2, p. 365-371, 1989.

GRACE, N. D.; DAVIES, E.; MONRO, J. Association of Mg, Ca, P and K with various fractions in the diet, digesta and faeces of sheep fed fresh pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 20, n. 4, p. 441-448, 1977.

GRAHAM, T. W. Trace element deficiencies in cattle. **Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice**, Philadelphia, v. 7, n. 1, p. 153-215, 1991.

GUEGUEN, L.; DEMARQUILLY, C. Influence of the vegetative cycle and the growth stage on the mineral value of some herbage plants for adult sheep. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 9., 1965, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria, 1965. v. 1, p. 745-754.

GUTIÉRREZ, O. Contenido y disponibilidad de fosforo en pastos tropicales. **Memoria**, v. 13, p.120, 1978.

GUTIÉRREZ, O.; GEERKEN, C. M.; DIAZ, A. Determinación de la digestibilidad real del fósforo en la bermuda cruzada N° 1 (*Cynodon dactylon* cv Coast cross). **Revista Cubana de Ciencia Veterinaria**, Havana, v. 19, n. 3, p. 233-238, 1988.

HAMILTON, E. I. The geobiochemistry of cobalt. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 150, n. 1-3, p. 7-39, 1994.

HINTZ, H. F.; SCHRYVER, H. F.; DOTY, J.; LAKIN, C.; ZIMMERMAN, R. A. Oxalic acid content of alfalfa hays and its influence on the availability of calcium, phosphorus and magnesium to ponies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 58, n. 4, p. 939-942, 1984.

HO, S. K.; HIDIROGLOU, M.; PROULX, J. G. A silent hypocupremic condition in beef cows fed grass silage and the efficacy of sequestered copper to prevent its occurrence. **Annales de Recherches Veterinaires**, Paris, v. 11, n. 3, p. 233-239, 1980.

HORST, R. L. Regulation of calcium and phosphorus homeostasis in the dairy cow. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, n. 2, p. 604-616, 1986.

ISMA. Agricultural Committee. (Paris, França). **Handbook on phosphate fertilization**. Paris, [s.d.]. 210 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315 p.

KLEIBER, M.; SMITH, A. H.; RALSTON, N. P.; BLACK, A. L. Radiophosphorus (P^{32}) as tracer for measuring endogenous phosphorus in cow's feces. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 45, p. 253-263, 1951.

- KOENIG, K. M.; RODE, L. M.; COHEN, R. D.; BUCKLEY, W. T. Effects of diet and chemical form of selenium on selenium metabolism in sheep. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 3, p. 817-827, 1997.
- LAKKE-GOWDA, H. S.; KEHAR, N. D.; AYYAR, N. K. Studies of phytic acid phosphorus metabolism in ruminants. 2. Influence of phytic acid phosphorus and total phosphorus in some of the common Indian cattle feeds. **Indian Journal of Medical Research**, New Delhi, v. 43, p. 609, 1955.
- LAMAND, M.; AMBOULOU, D.; RAYSSIGUIER, Y. Effect of quality of forage on availability of trace elements and some major elements. **Annales de Recherches Veterinaires**, Paris, v. 8, n. 3, p. 303-306, 1977.
- LEDOUX, D. R.; MARTZ, F. A. In vitro determination of mineral solubility from forages. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 67, suppl. 1, 272 p., 1989.
- LITTLE, D. A. Observations on the phosphorus requirement of cattle for growth. **Research in Veterinary Science**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 258-260, 1980.
- LITTLE, D. A. Utilization of minerals. In: HACKER, J. B. (Ed.). **Nutritional limits to animal production from pastures, Sta. Lucia, Queensland**. Farnham Royal: CSIRO, 1984, p. 259-283.
- LOFGREEN, G. P.; KLEIBER, M. The availability of the phosphorus in alfalfa hay. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 12, n. 2, p. 366-371, 1953.
- LONERAGAN, J. F. The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentration of trace elements in plants. In: NICHOLAS, D. J. D.; EGAN, A. R. (Ed.). **Trace elements in soil-plant-animal systems**. London: Academic Press, 1975. p. 109-134.
- LONERAGAN, J. F. Distribution and movement of copper in plantas. In: LONERAGAN, J. F.; ROBSON, A. D.; GRAHAN, R. D. (Ed.). **Copper in soils and plants**. London: Academic Press, 1981. p. 165-188.

MACKIE, R. I.; THERION, J.J. Influence of mineral interactions on growth efficiency of rumen bacteria. In: GILCHRIST, F. M. C.; MACKIE, R. I. (Ed.) **Herbivore nutrition in sub-tropics and tropics**. Craighall: Science Press, 1984. p. 455-477.

MARAIS, J. O.; BARNABAS, A. D.; FIGENSCHOU, D. L. Effect of calcium nutrition on the formation of calcium oxalate in kikuyu grass. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., 1997, Winnipeg. **Proceedings...** [s.l.: s.n., 1997?]. v. 2, Session 17 - Forage Quality.

McDOWELL, L. R. **Nutrition of grazing ruminants in warm climates**. Orlando: Academic Press, 1985. 443 p.

McMENIMAN, N. P.; LITTLE, D. A. Studies on the supplementary feeding of sheep consuling mulga (*Acacia aneura*). I. The precision of phosphorus and molasses supplements under grazing condition. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Victoria, v. 14, n. 68, p. 316-321, 1974.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MILLAR, C. E. **Soil fertility**. New York: John Wiley, 1963.

MILLER, W. J. Ruminant phosphorus requirements involve nutrition, metabolism. **Feedstuffs**, Minneapolis, v. 55, n. 42, p. 19-22, 1983.

MORSE, D.; HEAD, H. H.; WILCOX, C. J. Disappearance of phosphorus in phytate from concentrates in vitro and from rations fed to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, n. 7, p. 1979-1986, 1992.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6. ed. Washington: National Academy of Sciences, 1984. 90 p. (Nutrient requirements of domestic animals).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242 p.

NELSON, T. S.; DANIELS, L. B.; HALL, J. R.; SHIELDS, L. G. Hydrolysis of natural phytate phosphorus in the digestive tract of calves. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, n. 6, p. 1509-1512, 1976.

NORTON, B. W. Differences between species in forage quality. In: HACKER, J. B. (Ed.). **Nutritional limits to animal production from pastures**, Santa Lucia, Queensland. Farnham Royal: CSIRO, 1984, p. p.89-110.

NUNES, S. G.; SILVA, J. M.; SCHENK, J. A. P. **Problemas com cavalos em pastagens de humidícola**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1990, p.1-4. (EMBRAPA-CNPGC. Comunicado Técnico, 37).

PATIL, B. D.; JONES, D. I. H. The mineral status of some temperate herbage varieties in relation to animal performance. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11., 1970, Surfers Paradise. **Proceedings...** Queensland: University of Queensland Press, 1970. p. 726-730.

PEELER, H. T. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 35, n. 3, p. 695-712, 1972.

PERDOMO, J. T.; SHIRLEY, R. L.; CHICCO, C. F. Availability of nutrient minerals in four tropical forages fed freshly chopped to sheep. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 45, n. 5, p. 1114-1119, 1977.

PLAYNE, M. J. Availability of phosphorus in feedstuffs for utilization by ruminants. **Reviews in Rural Science**, v. 3, p. 155-164, 1976.

PLAYNE, M. J.; ECHEVARRIA, M. G.; MEGARRITY, R. G. Release of nitrogen, sulphur, phosphorus, calcium, magnesium, potassium and sodium from four tropical hays during their digestion in nylon bags in the rumen. **Journal of the Science of Food and Agricultural**, London, v. 29, n.6 , p. 520-526, 1978.

POWELL, K.; REID, R. L.; BALASKO, J. A. Performance of lambs on perennial ryegrass, smooth brome grass, orchardgrass and tall fescue pastures. II. Mineral utilization, *in vitro* digestibility and chemical composition of herbage. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 46, n. 6, p. 1503-1514, 1978.

POWLEY, G.; CARE, A. D.; JOHNSON, C. L. Comparison of the daily endogenous faecal magnesium excretion from sheep eating grass with high sodium or high potassium concentrations. **Research in Veterinary Science**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 43-46, 1977.

REID, R. L.; HORVATH, D. J. Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. A review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 5, p. 95-167, 1980.

REID, R. L.; JUNG, G. A.; ROEMIG, I. J.; KOCHER, R. E. Mineral utilization by lambs and guinea pigs fed Mg-fertilized grass and legume hays. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p. 9-14, 1978.

REID, R. L.; JUNG, G. A.; WOLF, C. H.; KOCHER, R. E. Effects of magnesium fertilization on mineral utilization and nutritional quality of alfalfa for lambs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 48, p. 1191-1201, 1979.

ROOKE, J. A.; AKINSOYINO, A. O.; ARMSTRONG, D. G. The release of mineral elements from grass silages incubated *in sacco* in the rumens of Jersey cattle. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 311-316, 1983.

SALETTE, J. The role of fertilizers in improving herbage quality and optimization of its utilization. In: **Optimizing yields - the role of fertilizers**. Bern: International Potash Institute, 1982. p. 117-144.

SANDBERG, A. S. The effect of food processing on phytate hydrolysis and availability of iron and zinc. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, New York, v. 289, p. 499-508, 1991.

SCHENK, M. A. M.; FARIA FILHO, T. T.; PIMENTEL, L. R. L. **Intoxicação por oxalatos em vacas lactantes em pastagem de setária (*Setaria anceps* Stapf cv. Kazungula)**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1982. 3 p. (EMBRAPA-CNPGC. Comunicado Técnico, 10).

SEBASTIAN, S.; TOUCHBURN, S. P.; CHAVEZ, E. R.; LAGUE, P. C. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper, and zinc in broiler chickens fed corn-soybean diets. **Poultry Science**, College Station, Texas, v. 75, n. 6, p. 729-736, 1996.

SPEARS, J.W. Nickel as a "newer trace element" in the nutrition of domestic animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 59, n. 3, p. 823-835, 1984.

SUTTLE, N. F. Copper deficiency in ruminants; recent developments. **Veterinary Record**, London, v. 119, n. 21, p. 519-522, 1986.

TERNOUTH, J. H.; COATES, D. B. Phosphorus homeostasis in grazing breeder cattle. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 128, n. 3, p. 331-337, 1997.

TIFFIN, L. O. Translocation of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 199-229.

TIFFIN, L. O. The form and distribution of metals in plants: an overview. In. ANNUAL HANFORD LIFESCIENCE SYMPOSIUM, 15., Beltsville: Agric. Environment Qual. Inst., 1977.

TILLMAN, A. D.; BRETHOUR, J. R. Utilization of phytin phosphorus by sheep. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 17, p. 104-112, 1958.

TINKER, P. B. Levels, distribution and chemical forms of trace elements in food plants. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences**, v. 294, n. 1071, p. 41-55, 1981.

TODD, J. R. Magnesium in forage plants. II. Magnesium distribution in grasses and clovers. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 57, p. 36-38, 1961.

VAN EYS, J. E.; REID, R. L. Ruminal solubility of nitrogen and minerals from fescue and fescue-red clover herbage. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, n. 4, p. 1101-1112, 1987.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant. Ruminant metabolism, nutritional strategies the cellulolytic fermentation and the chemistry of forage and plant fibers**. Portland: Durham and Downey, 1982. 373 p.

WARD, G.; HARBERS, L. H.; BLAHA, J. J. Calcium-containing crystals in alfalfa: their fate in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 62, n. 5, p. 715-22, 1979.

WEIMER, P. J. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 12, p. 3114-3122, 1998.

WHITEHEAD, D. C.; GOULDEN, K. M.; HARTLEY, R. D. The distribution of nutrient elements in cell wall and other fractions of herbage of some grasses and legumes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 36, p. 311-318, 1985.

Embrapa

Gado de Corte

Patrocínio

Navimix
Suplementos Minerais
e Rações



Fundacao Biblioteca Nacional



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil